

(19)日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-101467

(43)公開日 平成9年(1997)4月15日

(51)Int.Cl.<sup>8</sup>  
G 0 2 B 26/08

識別記号

府内整理番号

F I  
G 0 2 B 26/08

技術表示箇所  
E

審査請求 未請求 請求項の数1 OL (全10頁)

(21)出願番号 特願平8-137129

(22)出願日 平成8年(1996)5月30日

(31)優先権主張番号 455475

(32)優先日 1995年5月31日

(33)優先権主張国 米国(US)

(71)出願人 590000879

テキサス インスツルメンツ インコーポ  
レイテッド  
アメリカ合衆国テキサス州ダラス、ノース  
セントラルエクスプレスウェイ 13500

(72)発明者 グレゴリー エイ. マゲル

アメリカ合衆国テキサス州ダラス、ノーウ  
エイ ロード 6823

(72)発明者 ジェームズ エム. フローレンス  
アメリカ合衆国テキサス州リチャードソン,  
ウォルナット クリーク ブレース  
4

(74)代理人 弁理士 浅村 哲 (外3名)

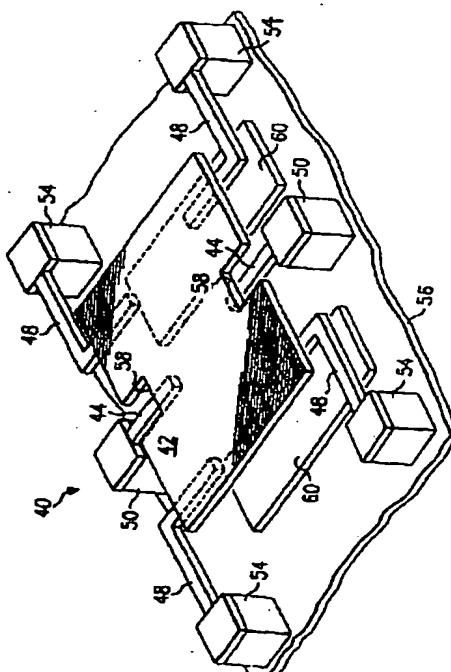
最終頁に続く

(54)【発明の名称】 空間光変調器

(57)【要約】

【課題】 アナログモードで動作する空間光変調器(40、70、80)。

【解決手段】 偏向可能なミラー(42、72)が捩りヒンジ(44)によって捩り軸に沿って支えられる。複数の撓みヒンジ(48)が設けられ、ミラー(42、72)のコーナーを支え、復元力を提供する。捩りヒンジと撓みヒンジとの組み合わせが広い番地電圧の範囲にわたって線形に動作する偏向可能な画素を実現する。撓みヒンジはまた、番地電圧が印加されていない時に平坦な未偏向状態を保ち、画素が崩壊するのを防止する。例えば画素の周囲(74)において画素を強化して、ミラーの極端な偏向においてもミラーの平坦性を保証し、それを防止することができる。画素は下層の番地電極(60)に対して番地電圧を印加することによって静電的に偏向される。



## 【特許請求の範囲】

【請求項 1】 第1の通常の位置から複数の第2の位置へ偏向可能な、全体的にプレナーな光反射性の画素を含む型の空間光変調器であって、前記画素への入射光は画素の位置に依存する選ばれた方向へ画素から反射されることで選択的に変調されるようになっており、前記画素の位置は下層の番地回路へ印加される電気信号の選ばれた特性に依存しており、前記画素の偏向が画素を支えている機構中に機械的なエネルギーを蓄え、その蓄えられたエネルギーが前記画素をその第1の位置へ戻そうとするようにされた空間光変調器であって、前記画素を支える機構が前記画素と第1の固定支柱との間につながれて、捩り軸を定める第1の捩り要素であって、前記画素の偏向により前記画素を前記第1の捩り要素の前記捩り軸の回りで回転するようになされた第1の捩り要素、および前記画素と第2の固定支柱との間につながれて、前記画素の偏向により撓るようにされた第2の撓み要素、を含んでいるという進歩した特徴を有する空間光変調器。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は一般的に入射光を変調するための空間光変調器に関するものであって、更に詳細には、ミラー偏向角度の関数である方向へ入射光をステアリングするための少なくとも1つのヒンジによって支えられた、選択的に偏向可能なミラーを有する装置に関する。

## 【0002】

【従来の技術】空間光変調器（SLM）は、光情報処理、投影型ディスプレイ、ビデオおよび画像モニター、テレビ、および静電式印刷の分野において数多くの用途を有している。SLMはまた、光スイッチ、光シャッター、光バルブ、画素ステアラー（pixel steerer）等としての用途もある。SLMは入射光を空間的なパターンにおいて変調し、電気的あるいは光学入力に対応する光イメージを形成するための装置である。入射光はその位相、偏波、および／またはその方向のいずれを変調しても構わない。光変調は、各種の電気－光または磁気－光効果を示す各種の材料によって、あるいは表面変形によって光を変調する材料によって達成できる。

【0003】本発明は、光スイッチ、光バルブ、画素ステアラー、および光シャッターを含む各種の装置において使用できる上記の型のSLMに関する。

【0004】米国テキサス州ダラス市、テキサスインスツルメンツ社の最近の製品にはDMDと総称されるデジタルマイクロミラー装置、あるいは偏向可能なミラー装置が含まれる。DMDはモノリシックな単一チップの集積回路を含む空間光変調器であって、典型的には17ミクロン角の四角い偏向可能なマイクロミラーの高密度ア

レイを有しているが、その他の寸法も可能である。それらのミラーはメモリセルおよび番地電極のアレイを含む番地回路を覆って作製される。ミラーは双安定的なものでよく、デジタルモードで動作し、2つの偏向位置の一方において安定である。ミラー上へ投光される光源は、ミラーによって2つの方向のうちの一方に反射させられる。デジタルモードで使用する場合、ミラーアレイからの入射光は変調せられ、投影レンズへ向けられ、その後集光されてディスプレイスクリーンやフォトリセプタードラムの上に光イメージを形成する。ミラーが”オン”位置と呼ばれる1つの位置にある場合、光は投影レンズ中へ向けられる。”オフ”ミラー位置と呼ばれる他方の位置では、光は光吸収器へ向かう。DMDはまた単安定型であってアナログモードで使用することもでき、光スイッチ、画素ステアラー、光シャッター、スキャナー等に使用できる。

【0005】DMD装置およびそれを有するシステムに関するより詳細な文献として、ホーンベック（Hornbeck）による”空間光変調器およびその方法（Spatial Light Modulator and Method）”と題した米国特許第5,061,049号、デ蒙ド（DeMonde）等による”標準的な独立型デジタル化ビデオシステム（Standard Independent Digitized Video System）”と題した米国特許第5,079,544号、およびネルソン（Nelson）による”印刷システム露光モジュールアライメント法および製造装置（Printing System Exposure Module Alignment and Apparatus of Manufacture）”と題した米国特許第5,105,369号が挙げられる。これらの特許は本発明と同じ譲受人へ譲渡されており、それぞれの内容をここに参考のために引用する。イメージを構成する画素のグレースケールは、本発明と同じ譲受人に譲渡され、その内容をここに参考として引用する。”パルス幅変調されたディスプレイシステムに用いるためのDMDアーキテクチャとタイミング（DMD Architecture and Timing for Use in a Pulse-Widt Modulated Display System）”と題した米国特許第5,278,652号に述べられたパルス幅変調技術を用いて実現することができる。

【0006】いざれも同様に譲渡された、ホーンベック（Hornbeck）による”空間光変調器とその方法（Spatial Light Modulator and Method）”と題した米国特許第4,662,746号、ホーンベック（Hornbeck）による”空間光変調器とその方法（Spatial Light Modulator and Method）”

と題した米国特許第4, 710, 732号、ホーンベック (Hornbeck) による”空間光変調器 (Spatial Light Modulator)” と題した米国特許第4, 956, 619号、およびホーンベック (Hornbeck) による”空間光変調器とその方法 (Spatial Light Modulator and Method)” と題した米国特許第5, 172, 262号は、マイクロメカニカルデバイス、特にアナログモードでの使用に適した単安定型のDMD SLMを作製するための各種構造と方法とを開示しており、それらの特許の内容をここに参考として引用する。

【0007】いずれも同様に譲渡された、ホーンベック (Hornbeck) による”空間光変調器とその方法 (Spatial Light Modulator and Method)” と題した米国特許第5, 096, 279号、ホーンベック (Hornbeck) による”双安定型DMD番地指定回路とその方法 (Bistable DMD Addressing Circuit and Method)” と題した米国特許第5, 142, 405号、ネルソン (Nelson) による”静電的に制御された画素ステアリング装置とその方法 (Electrostatically Controlled Pixel Steering Device and Method)” と題した米国特許第5, 212, 582号は、デジタルモードでの使用に適した双安定型の同じくDMD SLMを作製するための各種構造と方法とを開示しており、それらの特許の内容をここに参考として引用する。

#### 【0008】

【発明の解決しようとする課題】図1Aないし図1Hを参照すると、これらの実施例は同様に譲渡された米国特許第5, 172, 262号に開示されているものであって、そこにはアナログモードで動作できる単安定型のDMD空間光変調器が示されている。全体的に20で示した1つの画素は、基本的には浅いウエルを覆う1つのフラップ (flap) であり、それはシリコン基板22、スペーサ24、ヒンジ層26、画素層28、層26-28中に形成されたフラップ30、そしてフラップ30中のプラズマエッチアクセス用ホール32を含んでいる。画素層28によって覆われていない場所にあるヒンジ層26の部分34は、スペーサ24によって支えられた層26-28の部分へのフラップ30を伴うヒンジを構成している。画素20はシリコン基板22上へ完成した半導体プロセスを用いて作製される。スペーサ24は絶縁性のポジ型フォトレジストや他のポリマーでよく、ヒンジ層26および画素層28はいずれもアルミニウム、チタン、およびシリコンの合金 (Ti : Si : A1) でよいが、それらの層はチタン・タングステンやその他適当な材料であってもよい。ヒンジ層34は厚さが約800オングストロームでよいが、他方、画素30は

カッピング (cupping) やそり (wrapping) を避けるためにずっと厚く、約3000オングストロームの厚さのものでよい。

【0009】画素20は、動作時にはミラー30と下層の基板22上に画定された番地電極36との間に電圧を印加することによって偏向される。フラップ30と電極36の露出表面とが空隙コンデンサの2枚の電極板を構成し、印加された電圧によってそれらの2枚の電極に誘起される互いに異なる電荷がフラップ30と基板22とを引き寄せる静電力を生み出す。この引力は、フラップ30をヒンジ34のところで曲げ、基板22へ向けて偏向させる。電極の対向する表面積、それらの間隔、印加された電圧差、およびヒンジ34のコンプライアンス (compliance) に依存してミラー30の偏向角度は変化する。ミラー30の偏向は図1Cにグラフで示したように電圧差の関数である。図示のように電圧差が大きくなればなるほど、すなわち、ミラー30へ印加された電圧が高くなればなるほど、偏向角度は大きくなる。

【0010】図1Cに示されたように、この偏向は非線形であり、印加された電圧に正比例しない。理想的な応答である線形な応答は全体的に38の点線で示してある。非線形的な関係の理由はいろいろある。まず、静電力はミラー30と番地電極36との間の距離の2乗に逆比例する。第2に、ヒンジの形状および組成がヒンジ34のコンプライアンスに影響する。ミラー30が厚ければひどいそりが防止されるものの、ヒンジ34が厚くなると大きなコンプライアンスにつながる。フラップ30の偏向は印加された電圧の顕著な非線形関数になる。それは、ヒンジ34が曲がることによって生ずる復元力はほぼ偏向の線形関数であるが、静電的な引力はフラップ30と電極36の再近接コーナー間の距離が減少するとともに増大するからである。距離が減少するとともに容量は増加すること、そして誘起される電荷は量的にも増加し、互いに接近もすることを思い出されたい。図1Cに示したように、ミラー30が不安定になって電極36に接触して短絡するまで曲がってしまう電圧値を崩壊 (collapse) 電圧と呼ぶ。アナログ動作領域というのは、偏向が零から崩壊状態までの範囲を指す。

【0011】図1Dないし図1Hは図1に示された片持ち梁あるいはリーフ型のミラー30の実施例と等価な代替え実施例を示す。

【0012】上述のような、そして図1Aないし図1Hを参照して説明したような空間光変調器を作動させる時には、偏向可能な要素をアナログ領域において動作させることができ好ましく、それによって、ミラー30の偏向角度が印加される電圧に線形に比例することが好ましい。この装置を光ビームステアラー、スキャナー、あるいは光スイッチとして動作させるためには、偏向角度を精密に制御することが、入射光を受光器すなわちセンサー等

へ正確にステアリングするうえで好ましい。従って、図1Aないし図1Hに示されたような従来技術の設計においては、再現性のあるプロセスに従うことが不可欠である。しかし、実際問題としてはプロセスの裕度(tolerance)によって装置毎に幾分かの偏差が生ずる。従って、番地電極36に印加された特定の電圧に対しても、ミラー30の偏向角度は装置毎にわずかに異なることがあり得る。従って、装置をアナログモードで使用しようとする場合は、組み込みの前に装置の校正を行うことが必要である。

【0013】アナログモードでの使用に適した、偏向可能な画素を備えた空間光変調器を提供することが好ましい。番地電圧の関数としての画素の偏向は容易に校正できるものであるべきで、プロセス裕度があっても装置間で整合的であるべきであり、広い偏向角度範囲においてほぼ線形であるべきである。

#### 【0014】

【課題を解決するための手段】本発明は、捩りヒンジ(torsion hinge)と少なくとも1つの撓みヒンジ(flexure hinge)との両方によって支えられた画素を提供することによって、技術的特長を有する空間光変調器を実現することができる。捩りヒンジはチルト角度を定義し、撓みヒンジは平坦位置を定義して、拡大された安定なチルト角度範囲を実現できる復元力を提供する。これらヒンジを組み合わせることにより、画素はほぼ単安定型となり、崩壊に対する抵抗性を持つようになる。この画素構造はミラーの平坦性を保持することを助けるように強化することもできる。

【0015】本発明は、第1の、通常の位置から複数の第2の位置へと偏向可能な、一般にプレナーな光反射画素すなわちミラーを含む型の空間光変調器を含んでいる。画素へ入射する光は、画素の位置に依存することによって方向へ画素から反射されることにより選択的に変調される。画素の位置は下層の番地電極へ印加される電圧等の電気信号の選ばれた特性に依存する。画素の偏向は画素を支えている機構中に潜在的な機械的エネルギーを蓄えることになり、この蓄えられたエネルギーは画素を第1の、水平な通常位置へ戻そうとする。好ましくは、この画素を支える機構は、画素と第1の固定された支柱との間につながれて捩り軸を定義する第1の捩りヒンジを含む。画素の偏向により画素は前記第1のヒンジの捩り軸の周りで回転する。画素と第2の固定された支柱との間に、少なくとも1つの第2の撓みヒンジがつながっている。画素の偏向は第2のヒンジの撓みをもたらす。2種類のヒンジを提供することによって、画素の偏向を広い偏向範囲にわたって制御することができるようになり、下層の番地回路、好ましくは電極へ印加される電気信号にほぼ比例するようになる。この画素は単安定型であり、もちろん大きな番地電圧が印加されない限り、番地電極上へ崩壊することはない。光ステアリングのた

めの画素ミラーチルト角度の優れた精度が達成され、第2のヒンジはよく定義された未偏向(平坦な)位置を提供できる。第1と第2の両ヒンジは復元力を提供する。

【0016】第1および第2のヒンジが画素へつながれる地点は、画素の周囲上で離れている。画素は一般に矩形の形状を有し、第1のヒンジは画素の第1の側辺の中点において画素へつながれている。第2のヒンジは、第1の実施例では、同じく画素の前記第1の側辺へつながれている。第2のヒンジは画素の前記第1の側辺と画素の第2の側辺との接合部に接近した場所で画素へつながれていることが好ましい。第2のヒンジは画素の第1の側辺でも、第2の側辺でも、どちらにつながれても構わない。第1のヒンジの捩り軸は一般に画素と同一面にあって、第2のヒンジはその撓んでいない状態において画素と一般に同一面であり、そして第1ヒンジの捩り軸に直交するような方向を向いている。第2のヒンジはその撓んだ状態において、そのコーナーにおいて曲がったあるいはわずかにひねった表面を定義し、それによって各端部がそれが取り付けられている表面と同一面に留まるようになっている。

【0017】第1ヒンジの特性は、画素の第1の位置から脱する偏向が主として捩り軸回りの回転によって起こるようになっている。第2のヒンジの特性は、画素の前記第1の位置が主として第2のヒンジによって決まるようになっている。両ヒンジの特性は、画素が第1の位置から脱して、電気信号の選ばれた特性によって決まる複数の第2位置へ選択的に偏向可能であるようになっている。第1および第2のヒンジは離れた第1および第2の支柱へそれぞれつながれている。別の実施例では、第1および第2のヒンジを同じ支柱へつなぐこともできる。画素は未偏向時、および第1の位置から脱して偏向された時に平坦性を保つように強化することができる。そのような強化は、画素の周囲に皺(corrugation)をつけることによって、あるいはリッジ(ridge)をつけることによって変調すべき入射光との干渉を最小化し、強固にすることを含むものであることが好ましい。別の方として、あるいは付加的に、放射状の皺またはリッジをつけることによって、画素のカッピングを最小化することもできる。

#### 【0018】

【発明の実施の形態】図2を参照すると、本発明の好適実施例に従う単安定型空間光変調器が全体的に40で示されている。SLM40は電気的入力の関数としての方向へ入射光を選択的にステアリングするアナログモードにおいて動作するのに特に適している。SLMの偏向は一般に入力電気信号に対して線形であるか、非線形であるかのいずれかである。画素は独特なヒンジの組み合わせによって、下層の番地電極上へ崩壊することに抵抗する。

【0019】SLM40は完成した半導体プロセスを使

用して形成されたマイクロメカニカル構造である。SLM40は、その中間区分に沿って一対の捩りヒンジ44で支えられた、全体的に矩形をした反射性アルミニウム画素42を含むように描かれている。ヒンジ44はミラー42を本質的に二分しており、それに沿って捩り軸を定義している。ミラー42はまた、その各コーナー付近でL字型の撓みヒンジ48によって支えられているように描かれている。捩りヒンジ44は対応する導電性の支柱50によって支えられて、そこから延びており、一方、撓みヒンジ48は対応する導電性の支柱54によって支えられている。各支柱50および54はシリコン基板56上に支えられており、この基板56はまた、一対の導電性の番地電極60を支えている。番地電極60の各々は基板56と一緒に作製された下層の番地回路(図示されていない)へつながれている。ヒンジ44は一対の対向するノッチ58においてミラー42へつながっており、このノッチ58のために、長く柔軟な(compliant)ヒンジ44が可能となっている。ヒンジ、ミラー、および支柱が導電性材料を含むことが好ましい一方で、それぞれ、あるいはすべてのものが、もし必要であれば光を反射する被覆を有する画素を備えた、電気的に非導通性の材料を含むこともできる。ヒンジ48はまた、曲がりくねった形状、あるいはもし必要ならば線形な形状をしていてもよい。ヒンジ48は画素ミラー42へ隣接する2つの側辺が接するコーナー付近でいずれかの辺へつなぐことができ、ヒンジ48の図示の形状に対する制限はない。

【0020】図3Aを参照すると、ヒンジ44によって画定される捩り軸を中心とするミラー42の角度偏向が番地電極60の1つへ印加された電圧ポテンシャルの関数であるように描かれている。バイアス電圧が支柱54およびヒンジ48を経由してミラー42へ印加され、番地ポテンシャルが2つの番地電極60の一方へ印加されると、この電圧ポテンシャルがミラー42と下層の番地電極60との間に静電的引力を誘起し、それによって図示のようにミラー42の角度偏向を引き起こしている。捩りヒンジ44はミラー42と一緒に回転、あるいはねじれを起こし、機械的エネルギーの形で復元力をもたらす。4つの撓みヒンジ48の各々もまた、ヒンジ44によって画定される捩り軸の回りにミラー42が偏向される時に復元力を提供し、図示のように変形または撓みを起こす。ヒンジ48もまた、機械的エネルギーの形で復元力を提供し、電圧ポテンシャルが存在しない時には、未偏向位置または通常の平坦面を画定する。

【0021】以下の寸法や形状は一例として示すものであって、それらに限定するものではないが、捩りヒンジ44は、それぞれ約500オングストロームの厚さを有するアルミニウム、アルミニウム合金、あるいはチタン・タングステン等のコンプライアントな材料をふくむことが好ましい。撓みヒンジ48の各々もまた、約500

オングストロームの厚さを有するアルミニウム、アルミニウム合金、あるいはチタン・タングステン等のコンプライアント(compliant)な材料を含むことが好ましい。各ヒンジ48の長さは約10ミクロンである。各ヒンジ48は対応する支柱54から対応する捩りヒンジ44へ向かって十分な長さだけ延びて、そこにおいて直角に曲がる。各撓みヒンジ48はミラー42付近で90°の曲がりを有し、図示のように、2つの隣接側辺が接するコーナーで画素42へつながっている。ヒンジ48の短いセグメントは、ヒンジ48の撓みのほとんどが主部の長さに沿って発生し、任意のねじれがそれのコーナー部において発生することを保証している。ヒンジ48の厚さが約500オングストロームで、長さが約10ミクロンであるため、これらのヒンジが撓むことによって、図3Aに示すように、1つの番地電極60へ与えられた電圧ポテンシャルの関数としてミラー42が偏向することが許容される。ミラー42と電極60との間隔は約1-10ミクロンである。このアナログ動作範囲は図3Aに角度θとして表されている。これは0から20ボルトの間の入力電圧に対応する。画素42が角度θの範囲だけ偏向されると、図3Aに示すように、入射光は2θの範囲にわたってステアリングされる。光の特性に従って、入射光が反射され得る角度範囲は画素42の偏向角度の2倍である。本発明では、画素42は設計に依存して、線形あるいは非線形応答で以て約10°の角度まで偏向可能である。従って、光をステアリングできる範囲は20°である。番地電圧の関数としてのミラー42の応答曲線が図3Bに示されている。

【0022】1つの番地電極60に印加される番地電圧が0から20ボルトの範囲では、ミラー42は番地電圧に比例して偏向される。SLM40を光スイッチまたは光ステアラーとして使用する時、光センサーまたはスキーナーのような受光器へ向かって入射光を正確にステアリングすることが可能になる。画素のステアリングのためのミラーのチルト角度制御を優れた精度で行うことができる。捩りヒンジ44はチルト軸を画定し、それによって、撓みヒンジ48は番地指定されない時(未偏向時)にミラーの平坦性を保ち、制御された応答を実現することを手助けする。捩りヒンジおよび撓みヒンジの両ヒンジは機械的な復元力を提供し、安定したチルト範囲を実現する。捩り軸の各々に対して2つの撓みヒンジ48が設けられているため、ヒンジの1つが破壊するようなことがなければミラーが崩壊する可能性はほとんどない。また、番地電極60へ印加される番地電圧の動作範囲が与えられたものであれば、ヒンジが破壊することもありそうにない。撓みヒンジ48および捩りヒンジの各々のコンプライアンスは優れている。

【0023】図4を参照すると、SLM70として、修正されたミラー72を備えた本発明の別の好適実施例の平面図が示されている。ここで、第1の実施例と同様な

要素に対しては同じ参照符号が使用されている。極端に偏向された状態においてもミラー72が平坦で、そらないうことを確かなものとするために、ミラー72の周囲を強化している。この強化は74で示した溝のように、ミラーの周囲に皺を設けることによって達成されることが好ましい。図5を参照すると、図4のライン5-5に沿ったミラー42の断面図が示され、ミラー42の周囲における皺の様子が示されている。捩り軸の回りに偏向された時でもそりやカッピングを起こさないようにミラー72を強化する信頼できる1つの方法は金属中に溝を設けることである。その他の等価な強化法としてはミラー72の周囲にリブ(rib)やリッジ、およびグリッドを設けることでその厚さを増やすものがある。

【0024】図6を参照すると、SLM80として、本発明の別の実施例が示されている。ここでも同様な要素に対して同じ参照符号が使用されている。各撓みヒンジ82は支柱84の1つへつながれ、そこから捩りヒンジ86は延びている。図2に示された6本の支柱と比べてこの実施例は2本の支柱だけしか必要としない。ここでも、撓みヒンジ82の各々は対応する支柱84から延びて、2つの隣接側辺が接する付近でミラー72のコーナーへつながっている。すべてのヒンジが、番地電極60へ番地電圧が印加されない時には、平坦な、未偏向状態へミラーを戻すための復元力を提供する。この実施例では、SLM要素がより接近して配置可能であるため、光学的に活性な表面の比率がより高いものになっている。

【0025】要約すると、アナログモードでの動作に特に適した進歩した単安定型の空間光変調器が開示されている。画素の偏向は下層の番地電極へ印加された電気信号に比例する。画素の偏向および応答動作は広い番地電圧範囲にわたって選択可能である。このようにして、入射光ビームはセンサーヤ光スキャナーのような受光器へ向けて正確にステアリングすることができる。従来の半導体プロセスの、厳しいプロセスパラメータ裕度で以て、再現性の高い動作特性を有する空間光変調器が製造可能である。撓みヒンジは、ミラーの崩壊に対する抵抗性を保証し、ミラーの単安定型アナログ動作特性に寄与し、復元力を提供し、そして番地指定されていない状況でミラーの平坦性を確立する。捩りヒンジはチルト軸を定義し、また復元力を提供する。本発明は、モノリシックな集積回路を製造するために用いられる完成した製造プロセスを使用して製造することができる。本発明は高価でなく、軽量で、低駆動電力しか必要としない。本装置の偏向速度は非常に高く、ミラー偏向の応答時間は高速の光スイッチングに適したものである。ミラーの表面領域はカスタム的に設計することができ、17ミクロン角のような非常に小型のものとすることもできるが、大面積の光ビームをステアリングするために大面積の平坦な画素を提供するために、必要であれば比較的大型のものとすることもできる。

【0026】本発明は特定の好適実施例に関して説明してきたが、本明細書を読むことによって当業者には数多くの変形や修正が明らかであろう。従って、特許請求の範囲に定義された本発明は、従来技術の観点からそのような変形や修正をすべて包含するものと解釈されるべきである。

【0027】以上の説明に関して更に以下の項を開示する。

(1) 第1の、通常の位置から複数の第2の位置へ偏向

可能な、一般にプレナーな光反射性の画素を含む型の進歩した空間光変調器であって、前記画素への入射光は画素の位置に依存する選ばれた方向へ画素から反射されることで選択的に変調されるようになっており、前記画素の位置は下層の番地回路へ印加される電気信号の選ばれた特性に依存しており、前記画素の偏向が画素を支えている機構中に機械的なエネルギーを蓄え、その蓄えられたエネルギーが前記画素をその第1の位置へ戻そうとするようになった空間光変調器であって、前記画素を支える機構が前記画素と第1の固定支柱との間につながれて、捩り軸を定義する第1の捩り要素であって、前記画素の偏向が前記第1の要素の前記捩り軸回りにそれの回転をもたらすようになった第1の捩り要素、および前記画素と第2の固定支柱との間につながれて、前記画素の偏向が前記第2の要素の撓みをもたらすようになった第2の撓み要素、を含んでいるという進歩した特徴を有する空間光変調器。

【0028】(2) 第1項記載の進歩した変調器であって、前記両要素が前記画素へつながれている地点が、画素の周囲において互いに離れている空間光変調器。

【0029】(3) 第2項記載の進歩した変調器であって、前記画素が一般に矩形の形状を有し、前記第1の要素が前記画素に対してそれの1つの側辺の中点においてつながれており、さらに前記第2の要素が前記画素の前記第1の側辺へつながれている空間光変調器。

【0030】(4) 第3項記載の進歩した変調器であって、前記第2の要素が前記画素の前記第1の側辺と前記画素の第2の側辺との接合部位付近で前記画素に対してつながれている空間光変調器。

【0031】(5) 第2項記載の進歩した変調器であって、前記第1の要素の捩り軸が一般に前記画素と同一面にあり、さらに前記第2の要素が、その撓んでいない状態において前記画素と一般に同一面にあって、前記第1の要素の捩り軸に対して垂直になるように向いている空間光変調器。

【0032】(6) 第5項記載の進歩した変調器であって、前記第2の要素が、その撓んだ状態において曲がった表面を定義し、その表面が一般に前記第1の要素の捩り軸に対して垂直になっている空間光変調器。

【0033】(7) 第1項記載の進歩した変調器であって、前記第1の要素の特性が、前記画素の前記第1の位

置から脱する偏向が主として捩り軸回りの回転によってもたらされるようなものであり、また前記第2の要素の特性が、前記画素の前記第1の位置が主として前記第2の要素によって決まるようなものである空間光変調器。

【0034】(8) 第7項記載の進歩した変調器であって、前記両要素の特性が、前記画素の前記第1の位置から脱して、電気信号の選ばれた特性によって決まる複数の前記第2の位置へ選択的に偏向可能であるようなものである空間光変調器。

【0035】(9) 第1項記載の進歩した変調器であって、前記第1および第2の要素が離れた前記第1の支柱および前記第2の支柱へそれぞれつながれている空間光変調器。

【0036】(10) 第1項記載の進歩した変調器であって、前記第1および第2の要素が同じ前記支柱へつながれている空間光変調器。

【0037】(11) 第1項記載の進歩した変調器であって、前記画素が平坦性を保持するように強化されている空間光変調器。

【0038】(12) 第11項記載の進歩した変調器であって、前記画素がその周囲において強化されている空間光変調器。

\* 【0039】(13) 第12項記載の進歩した変調器であって、前記画素がその周囲に皺(corrugation)を設けられている空間光変調器。

【0040】(14) 第11項記載の進歩した変調器であって、前記画素がその中央区分付近から放射状に強化されている空間光変調器。

【0041】(15) 光ビームのステアリングあるいは走査用としてアナログモードで動作する空間光変調器(40、70、80)。偏向可能なミラー(42、72)が捩りヒンジ(44)によって捩り軸に沿って支えられている。複数の撓みヒンジ(48)が設けられ、ミラー(42、72)のコーナーを支え、復元力を提供している。捩りヒンジと撓みヒンジとの組み合わせが、広い番地電圧の範囲にわたって線形に動作する偏向可能な画素を実現している。撓みヒンジはまた、番地電圧が印加されていない時に平坦な未偏向状態を保ち、画素が崩壊するのを防止している。例えば画素の周囲(74)において画素を強化して、ミラーの極端な偏向においてもミラーの平坦性を保証し、そりを防止することができる。画素は下層の番地電極(60)に対して番地電圧を印加することによって静電的に偏向される。

10 2) が捩りヒンジ(44)によって捩り軸に沿って支えられている。複数の撓みヒンジ(48)が設けられ、ミラー(42、72)のコーナーを支え、復元力を提供している。捩りヒンジと撓みヒンジとの組み合わせが、広い番地電圧の範囲にわたって線形に動作する偏向可能な画素を実現している。撓みヒンジはまた、番地電圧が印加されていない時に平坦な未偏向状態を保ち、画素が崩壊するのを防止している。例えば画素の周囲(74)において画素を強化して、ミラーの極端な偏向においてもミラーの平坦性を保証し、そりを防止することができる。画素は下層の番地電極(60)に対して番地電圧を印加することによって静電的に偏向される。

\* 【関連出願へのクロスリファレンス】

出願番号	タイトル	出願日
08/414,831	超構造光シールドを備えた空間光変調器 Spatial Light Modulator with Superstructure Light Shield	95-3-31
08/097,824	超小型モノリシック可変電圧デバイス およびそれを含む装置 Microminiature, Monolithic, Variable Electrical Device and Apparatus Including Same	93-7-27
08/424,021	能動ヨーク隠しヒンジデジタルマイクロ ミラーデバイス Active Yoke Hidden Hinge Digital Micromirror Device	95-4-18
08/171,303	多重レベルデジタルマイクロミラーデバイス Multi-Level Digital Micromirror Device	93-12-21

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】AないしHは、下層の番地電極へ印加された番地電圧の関数として偏向可能な、偏向可能画素を含む従来技術の片持ち梁型の空間光変調器。

【図2】偏向可能な画素であって、捩りヒンジと、そのコーナー近くにつながれた少なくとも1つの撓みヒンジとの両方によって支えられた画素を含む本発明に従う空間光変調器の鳥瞰図。

【図3】Aは捩りヒンジ支柱を取り外した図2のSLMの側面図であって、捩りヒンジの回りで偏向されて入射光を選ばれた方向へ向けている画素を示しており、この画素の偏向が下層の番地電極へ印加された電圧の関数であるSLMの側面図。Bは番地指定された電圧の関数としてのミラーの線形な偏向を示すグラフ。

【図4】図2に示された画素の別の好適実施例の平面図50 であって、画素の周囲が強化されて、捩り軸回りに回転

された時でも画素が平坦で、強固に、撓むことなく留まるようになっている実施例の平面図。

【図5】図4のライン5-5に沿って取った断面図であって、周囲に皺をつけられた画素を含む画素強化構造を示す断面図。

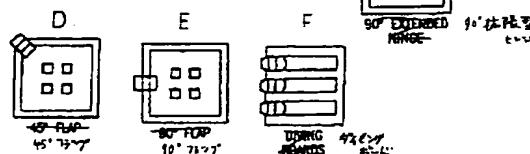
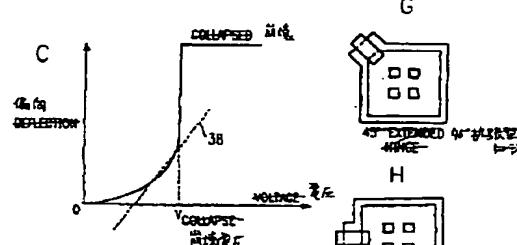
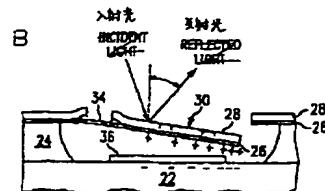
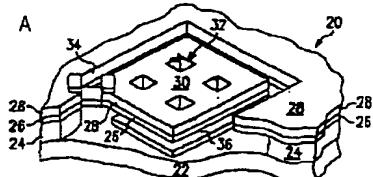
【図6】捩りヒンジおよび撓みヒンジの両方が共通の支柱によって支えられた、更に別の好適実施例の平面図。

【符号の説明】

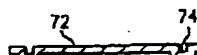
- 20 画素
- 22 シリコン基板
- 24 スペーサ
- 26 ヒンジ層
- 28 画素層
- 30 ミラー
- 32 ホールド
- 34 ヒンジ層部分
- 36 番地電極

- \* 38 線形応答曲線
- 40 単安定型空間光変調器
- 42 ミラー
- 44 捣りヒンジ
- 48 撥みヒンジ
- 50 支柱
- 54 支柱
- 56 シリコン基板
- 58 ノッチ
- 10 60 番地電極
- 70 空間光変調器
- 72 ミラー
- 74 溝
- 80 空間光変調器
- 82 撥みヒンジ
- 84 支柱
- \* 86 捣りヒンジ

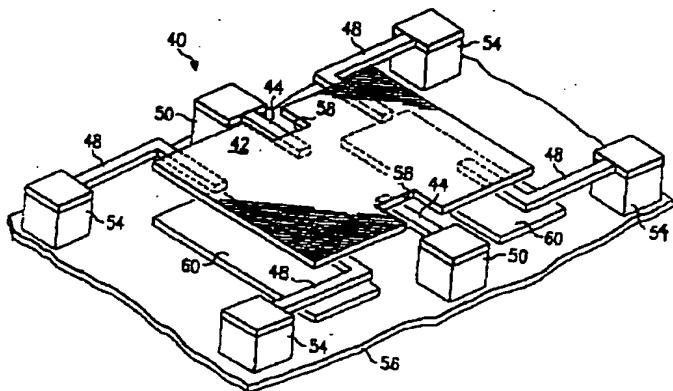
【図1】



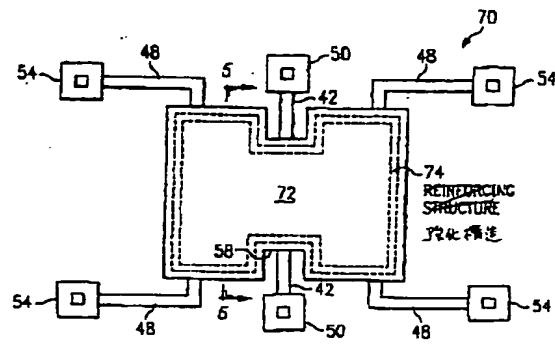
【図5】



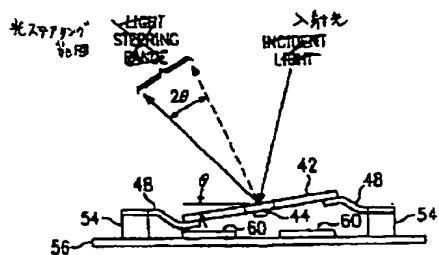
【図2】



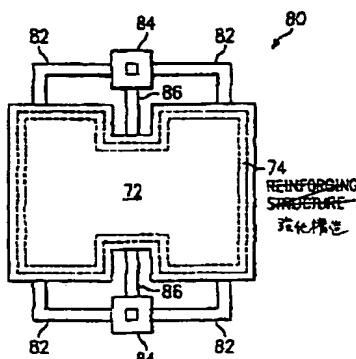
【図4】



【図3】



【図6】



## 【手続補正書】

【提出日】平成8年8月26日

## 【手続補正1】

【補正対象書類名】図面

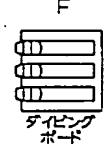
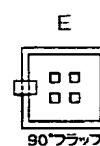
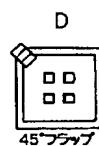
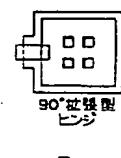
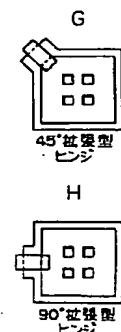
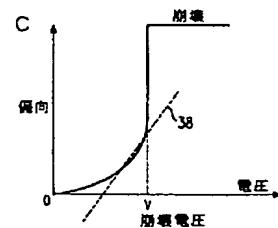
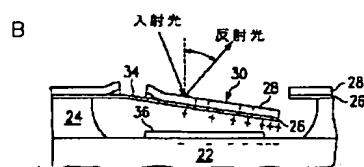
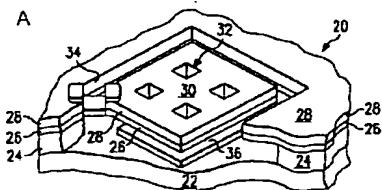
【補正対象項目名】図1

\* 【補正方法】変更

【補正内容】

【図1】

\*



## 【手続補正2】

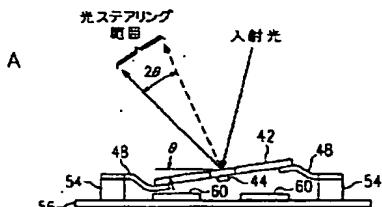
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図3

【補正方法】変更

【補正内容】

【図3】



## 【手続補正3】

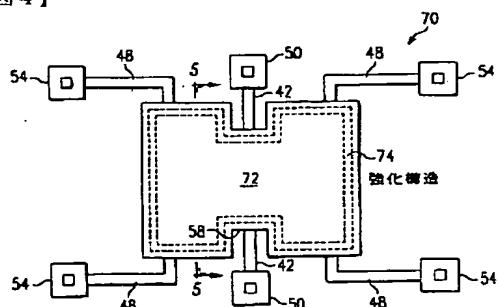
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図4

【補正方法】変更

【補正内容】

【図4】



## \* 【手続補正4】

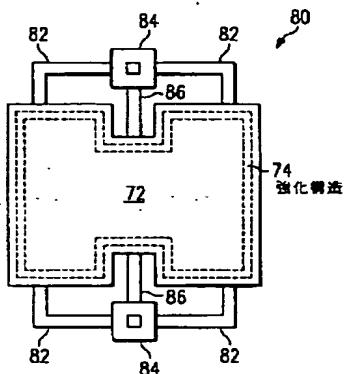
【補正対象書類名】図面

【補正対象項目名】図6

【補正方法】変更

【補正内容】

【図6】



フロントページの続き

(72)発明者 ロバート エム. ボイセル

アメリカ合衆国テキサス州プラノ, ノース

リッジ ドライブ 1400